



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-033599

出 願 人

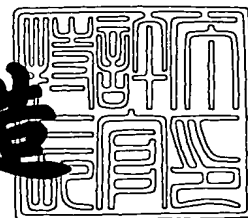
Applicant(s):

株式会社荏原製作所

2001年 8月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3070891

【書類名】 特許願

【整理番号】 001781

【提出日】 平成13年 2月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01N

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
 内

 【氏名】 佐竹 徹

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
 内

 【氏名】 吉川 省二

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
 内

 【氏名】 金馬 利文

【特許出願人】

 【識別番号】 000000239

 【氏名又は名称】 株式会社荏原製作所

【代理人】

 【識別番号】 100089705

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2
 0 6 区 ユアサハラ法律特許事務所

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 社本 一夫

 【電話番号】 03-3270-6641

【選任した代理人】

 【識別番号】 100080137

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 昭男

【選任した代理人】

【識別番号】 100083895

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 茂

【選任した代理人】

【識別番号】 100093713

【弁理士】

【氏名又は名称】 神田 藤博

【選任した代理人】

【識別番号】 100093805

【弁理士】

【氏名又は名称】 内田 博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106208

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮前 徹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010958

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 欠陥検査装置及び半導体製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料の欠陥を検査する欠陥検査装置であって、

前記試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する画像取得手段と、

基準画像を記憶する記憶手段と、

前記画像取得手段により取得された複数の被検査領域の画像と、前記記憶手段に記憶された前記基準画像とを比較することによって前記試料の欠陥を判断する欠陥判断手段と、

を含む、欠陥検査装置。

【請求項 2】 一次荷電粒子線を前記複数の被検査領域に各々照射し、前記試料から二次荷電粒子線を放出させる荷電粒子照射手段を更に含み、

前記画像取得手段は、前記複数の被検査領域から放出された二次荷電粒子線を検出することによって該複数の被検査領域の画像を順次取得する、請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 3】 前記荷電粒子照射手段は、

一次荷電粒子を放出する粒子源と、一次荷電粒子を偏向させる偏向手段とを備え、

前記粒子源から放出された一次荷電粒子を前記偏向手段で偏向させることによって、該一次荷電粒子を前記複数の被検査領域に順次照射する、請求項 2 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 4】 一次荷電粒子線を試料に照射する 1 次光学系と、

二次荷電粒子を検出器に導く 2 次光学系とを有することを特徴とする、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置を用いて、加工中又は完成品のウェーハの欠陥を検査する工程を含む、半導体製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体ウェーハ等の試料の画像を予め用意された基準画像と比較することにより該試料の欠陥を検査するための欠陥検査装置及び方法、並びに、このような欠陥検査装置を用いて半導体デバイスを製造する半導体製造方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来技術】

従来、半導体ウェーハ等の試料に一次電子を照射することにより発生した二次電子を検出することによって当該試料の欠陥を検査するための欠陥検査装置が、半導体製造プロセス等で利用されている。

【 0 0 0 3 】

このような欠陥検査装置には、画像認識技術を応用して欠陥検査の自動化及び効率化を図った技術がある。この技術では、二次電子を検出することによって取得した試料表面の被検査領域のパターン画像データと、予め記憶した試料表面の基準画像データとをコンピュータによってマッチング演算し、その演算結果に基づいて、試料の欠陥の有無を自動的に判定する。

【 0 0 0 4 】

昨今では、特に半導体製造分野においては、パターンの高精細化が進み、微細な欠陥を検出する必要が高まってきている。このような状況下では、上記のような画像認識技術を応用した欠陥検査装置においても、認識精度の更なる向上が求められている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来技術では、一次電子線を試料表面の被検査領域に照射して取得した二次電子線の画像と、予め用意された基準画像との間に位置ずれが発生し、欠陥検出の精度を低下させるという問題があった。この位置ずれは、一次電子線の照射領域がウェーハに対してずれ、検査パターンの一部が二次電子線の検出画像内から欠落するとき、特に大きな問題となり、単にマッチング領域を

検出画像内で最適化する技術だけでは対処できない。これは、特に、高精細パターンの検査では致命的欠点となり得る。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記事実に鑑みなされたもので、被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止した欠陥検査装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 7 】

更に、本発明は、半導体デバイスの製造プロセスにおいて、上記のような欠陥検査装置を用いて試料の欠陥検査を行うことにより、デバイス製品の歩留まりの向上及び欠陥製品の出荷防止を図った半導体製造方法を提供することを別の目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明の欠陥検査装置は、試料の欠陥を検査する欠陥検査装置であって、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する画像取得手段と、基準画像を記憶する記憶手段と、画像取得手段により取得された複数の被検査領域の画像と、記憶手段に記憶された基準画像とを比較することによって試料の欠陥を判断する欠陥判断手段と、を含んで構成される。ここで、検査対象となる試料は、欠陥を検出することができる任意のものが選択可能であるが、本発明は、半導体ウェーハを対象とするとき、優れた効果を奏することができる。

【 0 0 0 9 】

本発明では、画像取得手段が、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得し、欠陥判断手段が、取得された複数の被検査領域の画像と、予め記憶された基準画像とを比較することによって試料の欠陥を判断する。このように本発明は、位置の異なる被検査領域の画像を複数取得できるようにしたので、基準画像と位置ずれの少ない被検査画像を後工程で選択的に利用することができ、位置ずれによる欠陥検出精度の低下を抑えることができる。その上、試料及び画像取得手段が、通常では検査パターンの一部が

被検査画像領域から欠落するような位置関係にあったとしても、互いに位置をずらされた複数の被検査領域の画像が網羅するいずれかの領域には、全検査パターンが入る可能性はきわめて高いので、このようなパターンの一部欠落による欠陥検出の誤りを防止することができる。

【 0 0 1 0 】

比較手段は、例えば、取得された複数の被検査領域の各画像と基準画像との間でいわゆるマッチング演算を行い、複数の被検査領域のうち少なくとも1つの画像が基準画像と実質的に差が無かった場合、当該試料に欠陥無しと判断する。逆に、全ての被検査領域の画像が基準画像と実質的な差があった場合、当該試料に欠陥有りと判断することで高精度に欠陥検出を行う。

【 0 0 1 1 】

本発明の好ましい態様は、一次荷電粒子線を複数の被検査領域に各々照射し、当該試料から二次荷電粒子線を放出させる荷電粒子照射手段を更に含み、画像取得手段は、複数の被検査領域から放出された二次荷電粒子線を検出することによって該複数の被検査領域の画像を順次取得する。ここで、荷電粒子線は電子線が好ましい。

【 0 0 1 2 】

更に好ましくは、上記荷電粒子照射手段は、一次荷電粒子を放出する粒子源と、一次荷電粒子を偏向させる偏向手段とを備え、粒子源から放出された一次荷電粒子を偏向手段で偏向させることによって、該一次荷電粒子を複数の被検査領域に順次照射する。この態様では、偏向手段により入力画像の位置を容易に変更できるので、高速に位置の異なる被検査画像を複数取得することができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の更なる態様では、一次荷電粒子線を試料に照射する1次光学系と、二次荷電粒子を検出器に導く2次光学系とを有することを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

本発明の別の態様に係る半導体製造方法は、上記した各態様の欠陥検査装置を用いて、加工中又は完成品のウェーハの欠陥を検査する工程を含む。

本発明の他の態様及び作用効果は、以下の説明によって更に明らかとなる。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の各実施形態を説明する。

(第1の実施形態；欠陥検査装置)

図1には、本発明の第1の実施形態に係る欠陥検査装置の概略構成が示されている。この欠陥検査装置は、いわゆる写像投影型の検査装置で、一次電子線を放出する電子銃1、放出された一次電子線を偏向、成形させる静電レンズ2、成形された一次電子線を電場E及び磁場Bの直交する場で半導体ウェーハ5に略垂直に当たるように偏向させるE×B偏向器3、偏向された一次電子線をウェーハ5上に結像させる対物レンズ10、真空中に排気可能な図示しない試料室内に設けられ、ウェーハ5を載置した状態で水平面内を移動可能なステージ4、一次電子線の照射によりウェーハ5から放出された二次電子線及び／又は反射電子線を所定の倍率で写像投影して結像させる写像投影系の静電レンズ6、結像された像をウェーハの二次電子画像として検出する検出器7、及び、装置全体を制御すると共に、検出器7により検出された二次電子画像に基づいてウェーハ5の欠陥を検出する処理を実行する制御部16を含んで構成される。なお、上記二次電子画像には、二次電子だけでなく散乱電子や反射電子による寄与も含まれているが、ここでは二次電子画像と称することにする。

【0016】

また、対物レンズ10とウェーハ5との間には、一次電子線のウェーハ5への入射角度を電場等によって偏向させる偏向電極11が介在されている。この偏向電極11には、該偏向電極の電場を制御する偏向制御器12が接続されている。この偏向制御器12は、制御部16に接続され、制御部16からの指令に応じた電場が偏向電極11で生成されるように該偏向電極を制御する。なお、偏向制御器12は、偏向電極11に与える電圧を制御する電圧制御装置として構成することができる。

【0017】

検出器7は、静電レンズ6によって結像された二次電子画像を後処理可能な信号に変換することができる限り、任意の構成とすることができる。例えば、図6

にその詳細を示すように、検出器 7 は、マルチチャンネルプレート 5 0 と、蛍光面 5 2 と、リレー光学系 5 4 と、多数の CCD 素子からなる撮像センサ 5 6 と、を含んで構成することができる。マルチチャンネルプレート 5 0 は、プレート内に多数のチャンネルを備えており、静電レンズ 6 によって結像された二次電子が該チャンネル内を通過する間に、更に多数の電子を生成させる。即ち、二次電子を増幅させる。蛍光面 5 2 は、増幅された二次電子によって蛍光を発することにより二次電子を光に変換する。リレーレンズ 5 4 がこの蛍光を CCD 撮像センサ 5 6 に導き、CCD 撮像センサ 5 6 は、ウェーハ 5 表面上の二次電子の強度分布を素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換して制御部 1 6 に出力する。

【 0 0 1 8 】

制御部 1 6 は、図 1 に例示されたように、汎用的なパーソナルコンピュータ等から構成することができる。このコンピュータは、所定のプログラムに従って各種制御、演算処理を実行する制御部本体 1 4 と、本体 1 4 の処理結果を表示する CRT 1 5 と、オペレータが命令を入力するためのキーボードやマウス等の入力部 1 8 と、を備える、勿論、欠陥検査装置専用のハードウェア、或いは、ワークステーションなどから制御部 1 6 を構成してもよい。

【 0 0 1 9 】

制御部本体 1 4 は、図示しない CPU、RAM、ROM、ハードディスク、ビデオ基板等の各種制御基板等から構成される。RAM 若しくはハードディスクなどのメモリ上には、検出器 7 から受信した電気信号即ちウェーハ 5 の二次電子画像のデジタル画像データを記憶するための二次電子画像記憶領域 8 が割り当てられている。また、ハードディスク上には、予め欠陥の存在しないウェーハの基準画像データを記憶しておく基準画像記憶部 1 3 が存在する。更に、ハードディスク上には、欠陥検査装置全体を制御する制御プログラムの他、記憶領域 8 から二次電子画像データを読み出し、該画像データに基づき所定のアルゴリズムに従ってウェーハ 5 の欠陥を自動的に検出する欠陥検出プログラム 9 が格納されている。この欠陥検出プログラム 9 は、詳細を更に後述するように、基準画像記憶部 1 3 から読み出した基準画像と、実際に検出された二次電子線画像とをマッチングして、欠陥部分を自動的に検出し、欠陥有りと判定した場合、オペレータに警告

表示する機能を有する。このとき、C R T 1 5 の表示部に二次電子画像 1 7 を表示するようにしてもよい。

【 0 0 2 0 】

次に、第 1 実施形態に係る欠陥検査装置の作用を図 3 乃至図 5 のフローチャートを例にして説明する。

先ず、図 3 のメインルーチンの流れに示すように、検査対象となるウェーハ 5 をステージ 4 の上にセットする（ステップ 3 0 0）。これは、図示しないローダーに多数格納されたウェーハ 5 を一枚毎に自動的にステージ 4 にセットする形態であってもよい。

【 0 0 2 1 】

次に、ウェーハ 5 表面の X Y 平面上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する（ステップ 3 0 4）。これら画像取得すべき複数の被検査領域とは、図 9 に示すように、例えばウェーハ検査表面 3 4 上に、参照番号 3 2 a、3 2 b、... 3 2 k、... で示す矩形領域のことであり、これらは、ウェーハの検査パターン 3 0 の回りで、部分的に重なり合いながら位置がずらされていることがわかる。例えば、図 2 に示されたように、1 6 個の被検査領域の画像 3 2（被検査画像）が取得される。ここで、図 2 に示す画像は、矩形の枠目が 1 画素（或いは、画素より大きいブロック単位でもよい）に相当し、このうち黒塗りの枠目がウェーハ 5 上のパターンの画像部分に相当する。このステップ 3 0 4 の詳細は図 4 のフローチャートで後述する。

【 0 0 2 2 】

次に、ステップ 3 4 で取得した複数の被検査領域の画像データを記憶部 1 3 に記憶された基準画像データと、各々比較照合し（図 3 のステップ 3 0 8）、上記複数の被検査領域により網羅されるウェーハ検査面に欠陥が有るか否かが判定される。この工程では、いわゆる画像データ同士のマッチング処理を実行するが、その詳細については図 5 のフローチャートで後述する。

【 0 0 2 3 】

ステップ 3 0 8 の比較結果より、上記複数の被検査領域により網羅されるウェーハ検査面に欠陥が有ると判定された場合（ステップ 3 1 2 肯定判定）、オペレ

ータに欠陥の存在を警告する（ステップ318）。警告の方法として、例えば、CRT15の表示部に欠陥の存在を知らせるメッセージを表示したり、これと同時に欠陥の存在するパターンの拡大画像17を表示してもよい。このような欠陥ウェーハを直ちに試料室3から取り出し、欠陥の無いウェーハとは別の保管場所に格納してもよい（ステップ319）。

【0024】

ステップ308の比較処理の結果、ウェーハ5に欠陥が無いと判定された場合（ステップ312否定判定）、現在検査対象となっているウェーハ5について、検査すべき領域が未だ残っているか否かが判定される（ステップ314）。検査すべき領域が残っている場合（ステップ314肯定判定）、ステージ4を駆動し、これから検査すべき他の領域が一次電子線の照射領域内に入るようにウェーハ5を移動させる（ステップ316）。その後、ステップ302に戻って当該他の検査領域に関して同様の処理を繰り返す。

【0025】

検査すべき領域が残っていない場合（ステップ314否定判定）、或いは、欠陥ウェーハの抜き取り工程（ステップ319）の後、現在検査対象となっているウェーハ5が、最終のウェーハであるか否か、即ち図示しないローダーに未検査のウェーハが残っていないか否かが判定される（ステップ320）。最終のウェーハでない場合（ステップ320否定判定）、検査済みウェーハを所定の格納箇所に保管し、その代わりに新しい未検査のウェーハをステージ4にセットする（ステップ322）。その後、ステップ302に戻って当該ウェーハに関して同様の処理を繰り返す。最終のウェーハであった場合（ステップ320肯定判定）、検査済みウェーハを所定の格納箇所に保管し、全工程を終了する。

【0026】

次に、ステップ304の処理の流れを図4のフローチャートに従って説明する。

図4では、先ず、画像番号 i を初期値1にセットする（ステップ330）。この画像番号は、複数の被検査領域画像の各々に順次付与された識別番号である。次に、セットされた画像番号 i の被検査領域について画像位置 (X_i, Y_i) を決

定する（ステップ332）。この画像位置は、被検査領域を画定させるための該領域内の特定位置、例えば該領域内の中心位置として定義される。現時点では、 $i = 1$ であるから画像位置（ X_1, Y_1 ）となり、これは例えば図9に示された被検査領域32aの中心位置に該当する。全ての被検査画像領域の画像位置は予め定められており、例えば制御部16のハードディスク上に記憶され、ステップ332で読み出される。

【0027】

次に、図1の偏向電極11を通過する一次電子線がステップ332で決定された画像位置（ X_i, Y_i ）の被検査画像領域に照射されるように、偏向制御器12が偏向電極11に電位を加える（図4のステップ334）。

【0028】

次に、電子銃1から一次電子線を放出し、静電レンズ2、 $E \times B$ 偏向器3、対物レンズ10及び偏向電極11を通して、セットされたウェーハ5表面上に照射する（ステップ336）。このとき、一次電子線は、偏向電極11の作り出す電場によって偏向され、ウェーハ検査表面34上の画像位置（ X_i, Y_i ）の被検査画像領域全体に亘って照射される。画像番号 $i = 1$ の場合、被検査領域は32aとなる。

【0029】

一次電子線が照射された被検査領域からは二次電子及び／又は反射電子（以下、「二次電子」のみ称する）が放出される。そこで、発生した二次電子線を拡大投影系の静電レンズ6により所定の倍率で検出器7に結像させる。検出器7は、結像された二次電子線を検出し、検出素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換出力する（ステップ338）。そして、検出した画像番号 i のデジタル画像データを二次電子画像記憶領域8に転送する（ステップ340）。

【0030】

次に、画像番号 i を1だけインクリメントし（ステップ342）、インクリメントした画像番号（ $i + 1$ ）が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する（ステップ344）。この i_{MAX} は、取得すべき被検査画像の数であり、図2の上述した例では、「16」である。

【 0 0 3 1 】

画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合（ステップ 3 4 4 否定判定）、再びステップ 3 3 2 に戻り、インクリメントした画像番号 $(i + 1)$ について画像位置 (X_{i+1}, Y_{i+1}) を再び決定する。この画像位置は、前のルーチンで決定した画像位置 (X_i, Y_i) から X 方向及び／又は Y 方向に所定距離 $(\Delta X_i, \Delta Y_i)$ だけ移動させた位置である。図 9 の例では、被検査領域は、 (X_1, Y_1) から Y 方向にのみ移動した位置 (X_2, Y_2) となり、破線で示した矩形領域 3 2 b となる。なお、 $(\Delta X_i, \Delta Y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, i_{MAX}$) の値は、ウェーハ検査面 3 4 のパターン 3 0 が検出器 7 の視野から実際に経験的にどれだけずれるかというデータと、被検査領域の数及び面積から適宜定めておくことができる。

【 0 0 3 2 】

そして、ステップ 3 3 2 乃至 3 4 2 の処理を i_{MAX} 個の被検査領域について順次繰り返し実行する。これらの被検査領域は、図 9 に示すように、 k 回移動した画像位置 (X_k, Y_k) では被検査画像領域 3 2 k となるように、ウェーハの検査面 3 4 上で、部分的に重なり合いながら位置がずらされていく。このようにして、図 2 に例示した 1 6 個の被検査画像データが画像記憶領域 8 に取得される。取得した複数の被検査領域の画像 3 2（被検査画像）は、図 2 に例示されたように、ウェーハ検査面 3 4 上のパターン 3 0 の画像 3 0 a を部分的若しくは完全に取込み込んでいることがわかる。

【 0 0 3 3 】

インクリメントした画像番号 i が i_{MAX} を越えた場合（ステップ 3 4 4 肯定判定）、このサブルーチンをリターンして図 3 のメインルーチンの比較工程（ステップ 3 0 8）に移行する。

【 0 0 3 4 】

なお、ステップ 3 4 0 でメモリ転送された画像データは、検出器 7 により検出された各画素毎の二次電子の強度値（いわゆるベタデータ）からなるが、後段の比較工程（図 3 のステップ 3 0 8）で基準画像とマッチング演算を行うため、様々な演算処理を施した状態で記憶領域 8 に格納しておくことができる。このよう

な演算処理には、例えば、画像データのサイズ及び／又は濃度を基準画像データのサイズ及び／又は濃度に一致させるための正規化処理や、所定画素数以下の孤立した画素群をノイズとして除去する処理などがある。更には、単純なベタデータではなく、高精細パターンの検出精度を低下させない範囲で検出パターンの特徴を抽出した特徴マトリクスにデータ圧縮変換しておいてもよい。このような特徴マトリクスとして、例えば、 $M \times N$ 画素からなる2次元の被検査領域を、 $m \times n$ ($m < M$, $n < N$) ブロックに分割し、各ブロックに含まれる画素の二次電子強度値の総和（若しくはこの総和値を被検査領域全体の総画素数で割った正規化値）を、各マトリクス成分としてなる、 $m \times n$ 特徴マトリクスなどがある。この場合、基準画像データもこれと同じ表現で記憶しておく。本発明の実施形態でいう画像データとは、単なるベタデータは勿論のこと、このように任意のアルゴリズムで特徴抽出された画像データを包含する。

【 0 0 3 5 】

次に、ステップ 3 0 8 の処理の流れを図 5 のフローチャートに従って説明する。

まず、制御部 1 6 の CPU は、基準画像記憶部 1 3（図 1）から基準画像データを RAM 等のワーキングメモリ上に読み出す（ステップ 3 5 0）。この基準画像は、図 2 では参照番号 3 6 で表される。そして、画像番号 i を 1 にリセットし（ステップ 3 5 2）、記憶領域 8 から画像番号 i の被検査画像データをワーキングメモリ上に読み出す（ステップ 3 5 4）。

【 0 0 3 6 】

次に、読み出した基準画像データと、画像 i のデータとをマッチングして、両者間の距離値 D_i を算出する（ステップ 3 5 6）。この距離値 D_i は、基準画像と、被検査画像 i との間の類似度を表し、距離値が大きいほど基準画像と被検査画像との差異が大きいことを表している。この距離値 D_i として類似度を表す量であれば任意のものを採用することができる。例えば、画像データが $M \times N$ 画素からなる場合、各画素の二次電子強度（又は特徴量）を $M \times N$ 次元空間の各位置ベクトル成分とみなし、この $M \times N$ 次元空間上における基準画像ベクトル及び画像 i ベクトル間のユークリッド距離又は相関係数を演算してもよい。勿論、ユーク

リッド距離以外の距離、例えばいわゆる市街地距離等を演算することもできる。更には、画素数が大きい場合、演算量が膨大になるので、上記したように $m \times n$ 特徴ベクトルで表した画像データ同士の距離値を演算してもよい。

【0037】

次に、算出した距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さいか否かを判定する（ステップ358）。この閾値 T_h は、基準画像と被検査画像との間の十分な一致を判定する際の基準として実験的に求められる。

【0038】

距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さい場合（ステップ358肯定判定）、当該ウェーハ5の当該検査面34には「欠陥無し」と判定し（ステップ360）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像のうち1つでも基準画像と略一致したものがあれば、「欠陥無し」と判定する。このように全ての被検査画像とのマッチングを行う必要が無いので、高速判定が可能となる。図2の例の場合、3行3列目の被検査画像が、基準画像に対して位置ずれが無く略一致していることがわかる。

【0039】

距離値 D_i が所定の閾値 T_h 以上の場合（ステップ358否定判定）、画像番号 i を1だけインクリメントし（ステップ362）、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する（ステップ364）。

【0040】

画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合（ステップ364否定判定）、再びステップ354に戻り、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ について画像データを読み出し、同様の処理を繰り返す。

【0041】

画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えた場合（ステップ364肯定判定）、当該ウェーハ5の当該検査面34には「欠陥有り」と判定し（ステップ366）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像の全てが基準画像と略一致していなければ、「欠陥有り」と判定する。

(第 2 の実施形態)

本発明の欠陥検査装置においては、上記した写像投影型の電子線装置のみならず、いわゆる走査型の電子線装置を利用することができる。これを第 2 の実施形態として図 1 0 を用いて説明する。

【 0 0 4 2 】

図 1 0 は、本発明に係る電子線装置の一つの実施形態を概略的に示す図で、同図において、電子銃 6 1 から放出された電子線は、コンデンサレンズ 6 2 によって集束されて点 6 4 においてクロスオーバを形成する。

【 0 0 4 3 】

コンデンサレンズ 6 2 の下方には、複数の開口を有する第 1 のマルチ開口板 6 3 が配置され、これによって複数の一次電子線が形成される。第 1 のマルチ開口板 6 3 によって形成された一次電子線の夫々は、縮小レンズ 6 5 によって縮小されて点 7 5 に投影される。点 7 5 で合焦した後、対物レンズ 6 7 によって試料 6 8 に合焦される。第 1 のマルチ開口板 6 3 から出た複数の一次電子線は、縮小レンズ 6 5 と対物レンズ 6 7 との間に配置された偏向器 8 0 により、同時に試料 6 8 の面上を走査するように偏向される。

【 0 0 4 4 】

縮小レンズ 6 5 及び対物レンズ 6 7 の像面湾曲収差が発生しないように、図 1 0 に示すように、マルチ開口板 6 3 は、円周上に小開口が配置され、その X 方向へ投影したものは等間隔となる構造となっている。

【 0 0 4 5 】

合焦された複数の一次電子線によって、試料 6 8 の複数の点が照射され、照射されたこれらの複数の点から放出された二次電子線は、対物レンズ 6 7 の電界に引かれて細く集束され、E × B 分離器 6 6 で偏向され、二次光学系に投入される。二次電子像は、点 7 5 より対物レンズ 6 7 に近い点 7 6 に焦点を結ぶ。これは、各一次電子線は試料面上で 5 0 0 e V のエネルギーを持っているのに対し、二次電子線は数 e V のエネルギーしか持っていないためである。

【 0 0 4 6 】

二次光学系は、拡大レンズ 6 9、7 0 を有しており、これらの拡大レンズ 6 9

、70を通過した二次電子線は、第2マルチ開口板71の複数の開口に結像する。そして、これらの開口を通過して複数の検出器72で検出される。なお、検出器72の前に配置された第2のマルチ開口板71に形成された複数の開口と、第1のマルチ開口板63に形成された複数の開口とは一対一に対応している。

【0047】

夫々の検出器72は、検出した二次電子線を、その強度を表す電気信号へ変換する。こうした各検出器から出力された電気信号は増幅器73によって夫々増幅された後、画像処理部74によって受信され、画像データへ変換される。画像処理部74には、一次電子線を偏向させるための走査信号が偏向器80から更に供給されるので、画像処理部74は試料68の面を表す画像を表示する。この画像は、第1の実施形態で説明した位置の異なる複数の被検査画像（図2）のうち1つの画像に相当している。この画像を基準画像36と比較することにより、試料68の欠陥を検出することができる。また、レジストレーションにより試料68上の被評価パターンを一次光学系の光軸の近くへ移動させ、ラインスキヤンすることによって線幅評価信号を取り出し、これを適宜に校正することにより、試料68上のパターンの線幅を測定することができる。

【0048】

ここで、第1のマルチ開口板63の開口を通過した一次電子線を試料68の面上に合焦させ、試料68から放出された二次電子線を検出器72に結像させる際、一次光学系及び二次光学系で生じる歪み、像面湾曲及び視野非点という3つの収差による影響を最小にするよう配慮した方がよい。

【0049】

次に、複数の一次電子線の間隔と、二次光学系との関係については、一次電子線の間隔を、二次光学系の収差よりも大きい距離だけ離せば複数のビーム間のクロストークを無くすることができる。

【0050】

図10の走査型電子線装置においても、図3及び図4のフローチャートに従って、試料68の検査を行う。この場合、図4のステップ332の画像位置(X_i , Y_i)は、マルチビームを走査して得られる複数のライン画像を合成した2次

元画像の中心位置に対応する。この画像位置 (X_i , Y_i) は、後の工程で順次、変更されるが、これは、例えば偏向器 80 のオフセット電圧を変更することによって行う。偏向器 80 は、設定されたオフセット電圧の回りに電圧を変化させることによって、通常のライン走査を行う。勿論、偏向器 80 とは別体の偏向手段を設け、これにより画像位置 (X_i , Y_i) の変更を行ってもよい。

(第 3 の実施形態；半導体デバイスの製造方法)

第 3 の実施形態は、上記第 1 及び第 3 の実施形態で示した欠陥検査装置を半導体デバイス製造工程におけるウェーハの評価に適用したものである。

【0051】

デバイス製造工程の一例を図 7 のフローチャートに従って説明する。

この製造工程例は以下の各主工程を含む。

- ① ウェーハを製造するウェーハ製造工程（又はウェーハを準備する準備工程）（ステップ 100）
- ② 露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）（ステップ 101）
- ③ ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハプロセッシング工程（ステップ 102）
- ④ ウェーハ上に形成されたチップを 1 個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程（ステップ 103）
- ⑤ 組み立てられたチップを検査するチップ検査工程（ステップ 104）

なお、各々の工程は、更に幾つかのサブ工程からなっている。

【0052】

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程がウェーハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、メモリや MPU として動作するチップを多数形成する。このウェーハプロセッシング工程は以下の各工程を含む。

- ① 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVD やスパッタリング等を用いる）
- ② 形成された薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程

- ③ 薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィ工程
- ④ レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例えばドライエッチング技術を用いる）
- ⑤ イオン・不純物注入拡散工程
- ⑥ レジスト剥離工程
- ⑦ 加工されたウェーハを検査する検査工程

なお、ウェーハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

【 0 0 5 3 】

上記ウェーハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を図 8 のフローチャートに示す。このリソグラフィ工程は以下の各工程を含む。

- ① 前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程（ステップ 2 0 0）
- ② レジストを露光する露光工程（ステップ 2 0 1）
- ③ 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程（ステップ 2 0 2）
- ④ 現像されたパターンを安定化させるためのアニール工程（ステップ 2 0 3）

以上の半導体デバイス製造工程、ウェーハプロセッシング工程、リソグラフィ工程には周知の工程が適用される。

【 0 0 5 4 】

上記⑦のウェーハ検査工程において、本発明の上記各実施形態に係る欠陥検査装置を用いた場合、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、二次電子画像の像障害が無い状態で高精度に欠陥を検査できるので、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

【 0 0 5 5 】

以上が上記各実施形態であるが、本発明は、上記例にのみ限定されるものではなく本発明の要旨の範囲内で任意好適に変更可能である。

例えば、被検査試料として半導体ウェーハ 5 を例に掲げたが、本発明の被検査

試料はこれに限定されず、電子線によって欠陥を検出することができる任意のものが選択可能である。例えばウェーハへの露光用パターンが形成されたマスク等を検査対象とすることもできる。

【 0 0 5 6 】

また、本発明は、電子以外の荷電粒子線を用いて欠陥検出を行う装置にも適用できるばかりでなく、試料の欠陥を検査可能な画像を取得できる任意の装置にも適用可能である。

【 0 0 5 7 】

更に、偏向電極 1 1 は、対物レンズ 1 0 とウェーハ 5 との間のみならず、一次電子線の照射領域を変更できる限り任意の位置に置くことができる。例えば、 $E \times B$ 偏向器 3 と対物レンズ 1 0 との間、電子銃 1 と $E \times B$ 偏向器 3 との間などがある。更には、 $E \times B$ 偏向器 3 が生成する場を制御することによって、その偏向方向を制御するようにしてもよい。即ち、 $E \times B$ 偏向器 3 に偏向電極 1 1 の機能を兼用させてもよい。

【 0 0 5 8 】

また、上記実施形態では、画像データ同士のマッチングを行う際に、画素間のマッチング及び特徴ベクトル間のマッチングのいずれかとしたが、両者を組み合わせることもできる。例えば、最初、演算量の少ない特徴ベクトルで高速マッチングを行い、その結果、類似度の高い被検査画像については、より詳細な画素データでマッチングを行うという 2 段階の処理によって、高速化と精度とを両立させることができる。

【 0 0 5 9 】

また、本発明の実施形態では、被検査画像の位置ずれを一次電子線の照射領域の位置ずらしのみで対応したが、マッチング処理の前若しくはその間で画像データ上で最適マッチング領域を検索する処理（例えば相関係数の高い領域同士を検出してマッチングさせる）と本発明とを組み合わせることもできる。これによれば、被検査画像の大きな位置ずれを本発明による一次電子線の照射領域の位置ずらしで対応すると共に、比較的小さな位置ずれを後段のデジタル画像処理で吸収することができるので、欠陥検出の精度を向上させることができる。

【0060】

更に、欠陥検査用の電子線装置として、図1及び図10の構成を示したが、電子光学系等は任意好適に変更可能である。例えば、図1に示された欠陥検査装置の電子線照射手段(1、2、3)は、ウェーハ5の表面に対して垂直上方から一次電子線を入射させる形式であるが、E×B偏向器3を省略し、一次電子線をウェーハ5の表面に斜めに入射させるようにしてもよい。。

【0061】

また、図3のフローチャートの流れも、これに限定されない。例えば、ステップ312で欠陥有りと判定された試料について、他の領域の欠陥検査は行わないことにしたが、全領域を網羅して欠陥を検出するように処理の流れを変更してもよい。また、一次電子線の照射領域を拡大し1回の照射で試料のほぼ全検査領域をカバーできれば、ステップ314及びステップ316を省略することができる。

【0062】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように本発明の欠陥検査装置によれば、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得し、これらの被検査領域の画像と基準画像とを比較することによって、試料の欠陥を検査するようにしたので、被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止できる、という優れた効果が得られる。

【0063】

更に本発明のデバイス製造方法によれば、上記のような欠陥検査装置を用いて試料の欠陥検査を行うようにしたので、製品の歩留まりの向上及び欠陥製品の出荷防止が図れる、という優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態に係る欠陥検査装置の概略構成図である。

【図2】

図1の欠陥検査装置で取得される複数の被検査画像及び基準画像の例を示す図

である。

【図 3】

図 1 の欠陥検査装置におけるウェーハ検査のメインルーチンの流れを示すフローチャートである。

【図 4】

図 3 における複数の被検査画像データ取得工程（ステップ 3 0 4）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

【図 5】

図 3 における比較工程（ステップ 3 0 8）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

【図 6】

図 1 の欠陥検査装置の検出器の具体的構成例を示す図である。

【図 7】

半導体デバイス製造プロセスを示すフローチャートである。

【図 8】

図 7 の半導体デバイス製造プロセスのうちリソグラフィプロセスを示すフローチャートである。

【図 9】

半導体ウェーハの表面上で部分的に重なり合いながら互いから位置がずらされた複数の被検査領域を概念的に示す図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 の実施形態に係る欠陥検査装置を構成する走査型電子線装置の構成図である。

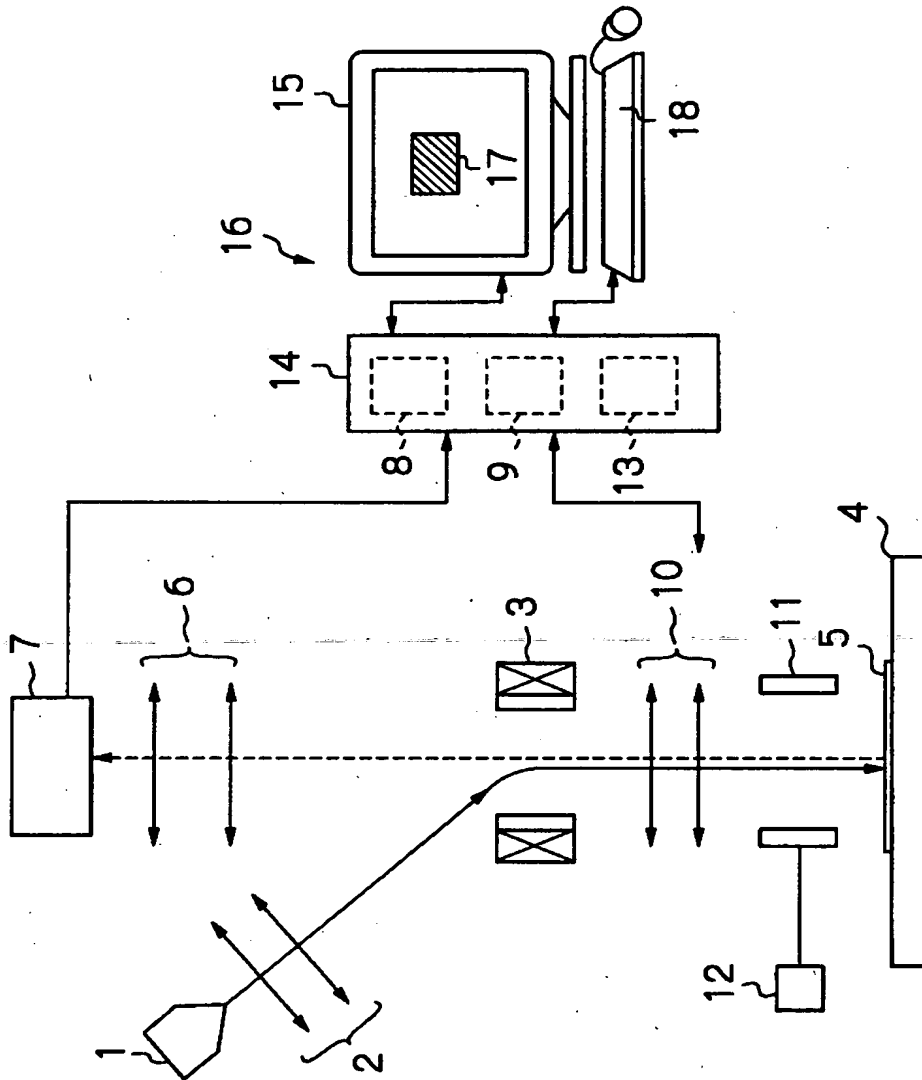
【符号の説明】

- 1 電子銃
- 2 静電レンズ
- 3 E × B 偏向器
- 4 ステージ
- 5 半導体ウェーハ（試料）

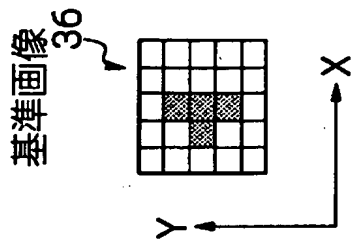
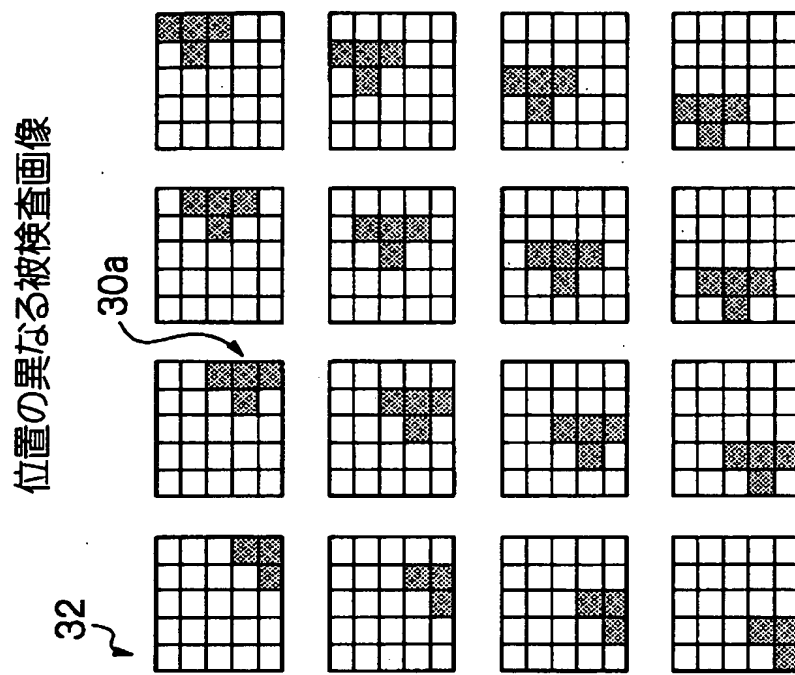
- 6 写像投影型の静電レンズ
- 7 検出器
- 8 二次電子画像記憶領域
- 9 欠陥検出プログラム
- 1 0 対物レンズ
- 1 1 偏向電極
- 1 2 偏向制御器
- 1 3 基準画像記憶部
- 1 5 C R T
- 1 6 制御部
- 3 0 ウェーハ表面上の検査パターン
- 3 0 a 検査パターンの画像
- 3 2 取得した複数の被検査画像
- 3 2 a、b、... k、... ウェーハ表面上の複数の被検査領域
- 3 6 基準画像

【書類名】 図面

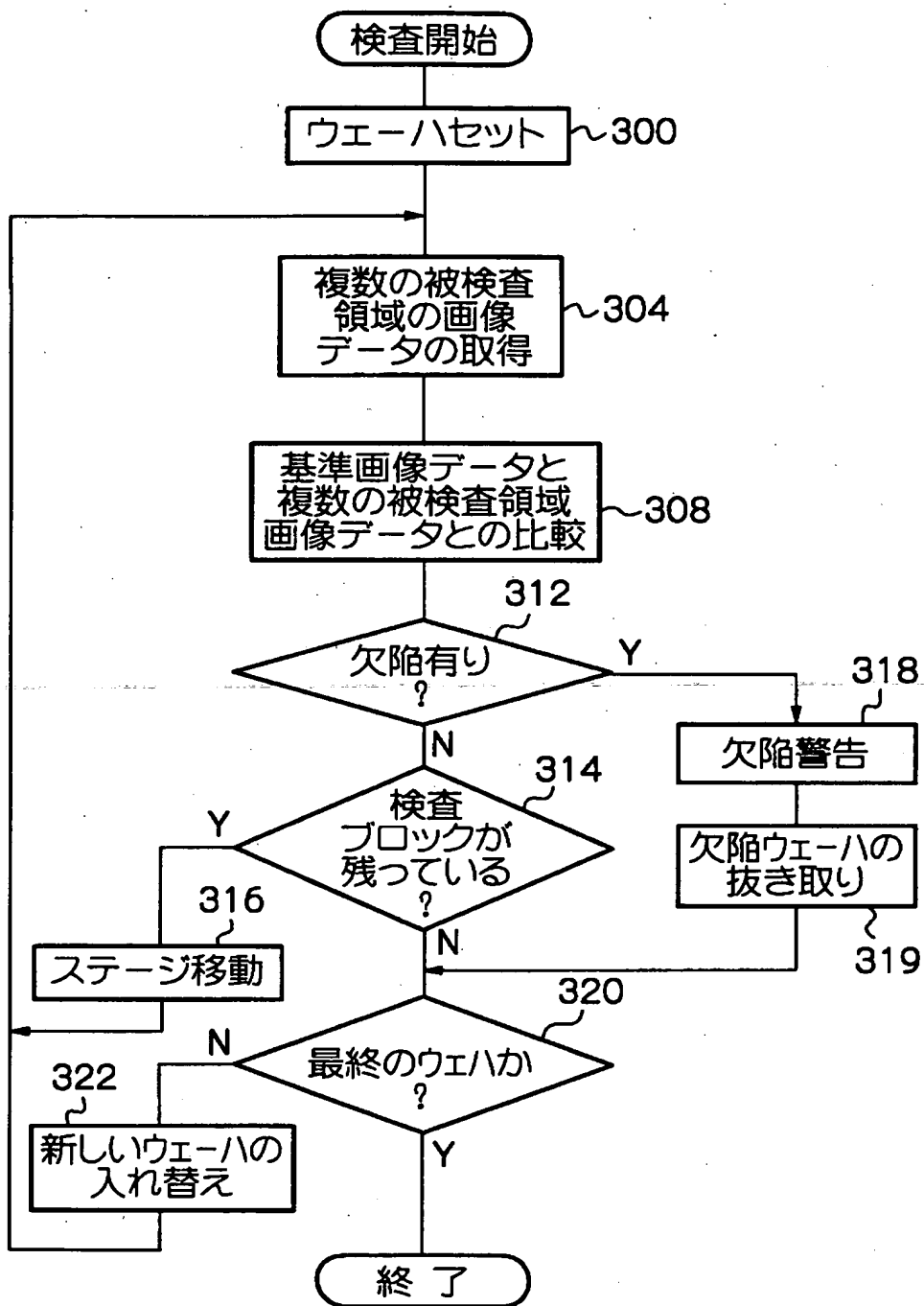
【図 1】



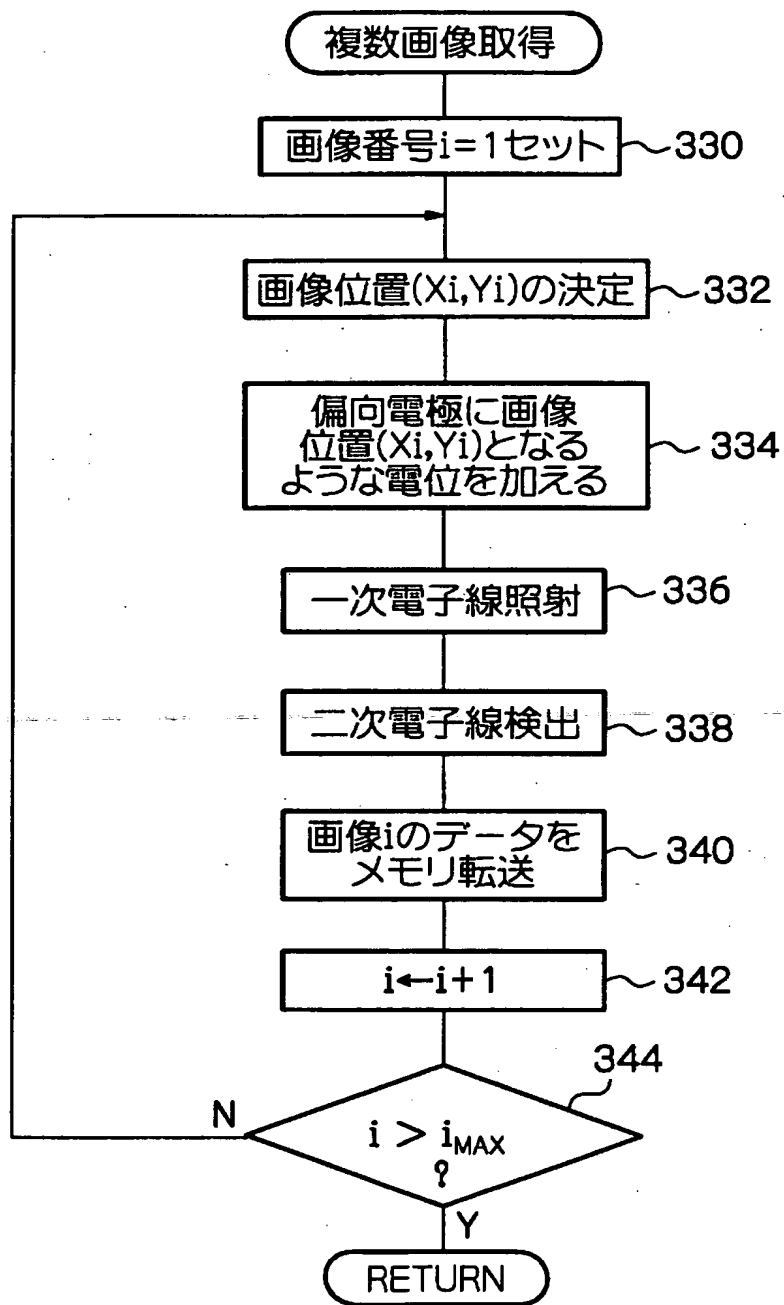
【図 2】



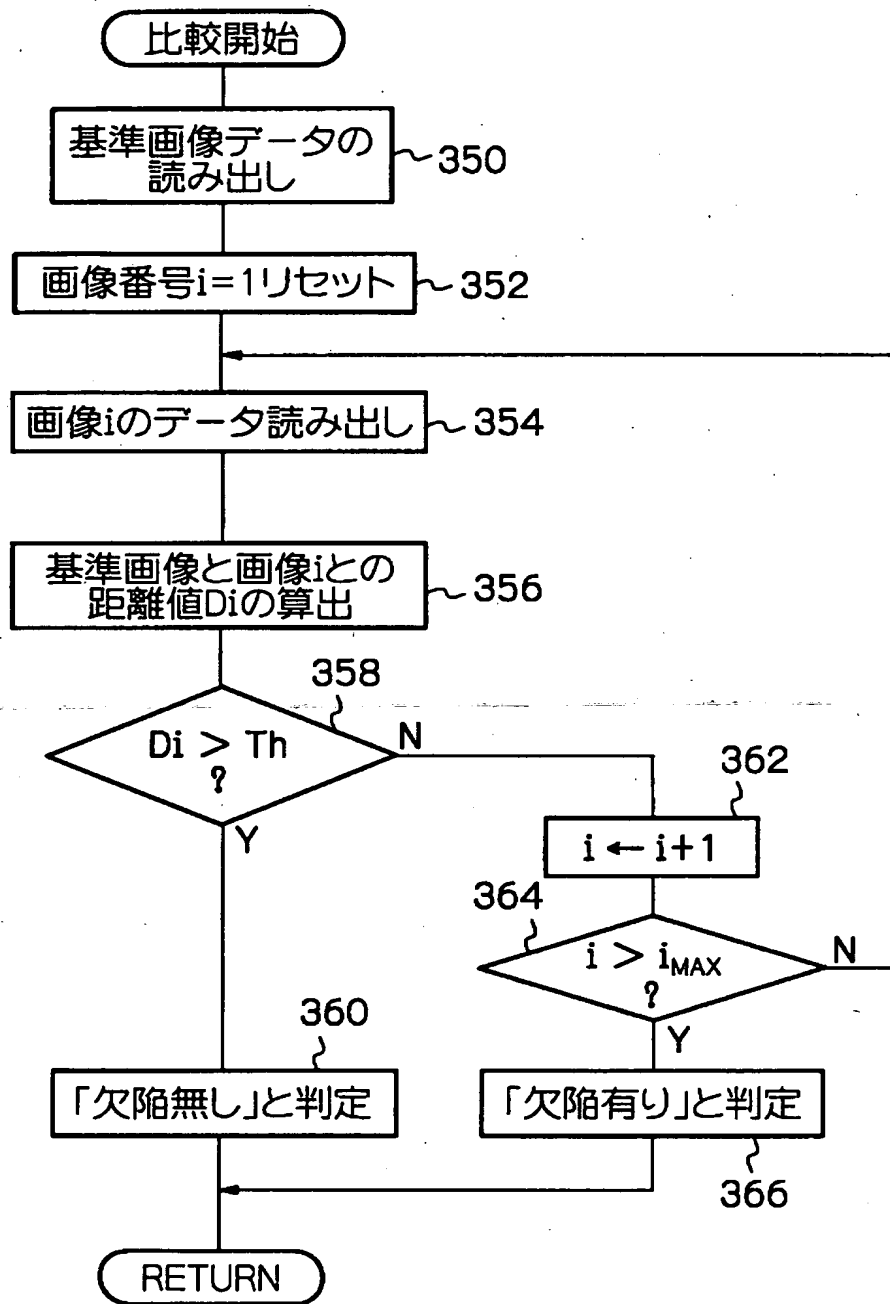
【図 3】



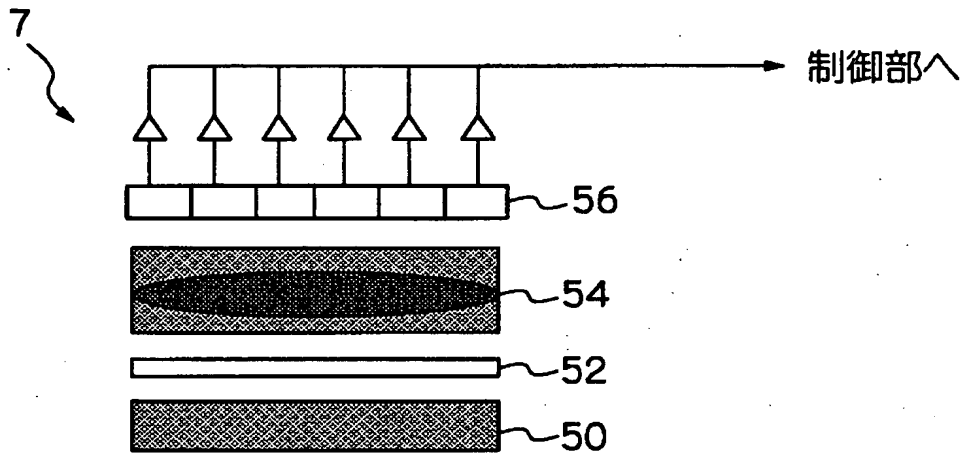
【図 4】



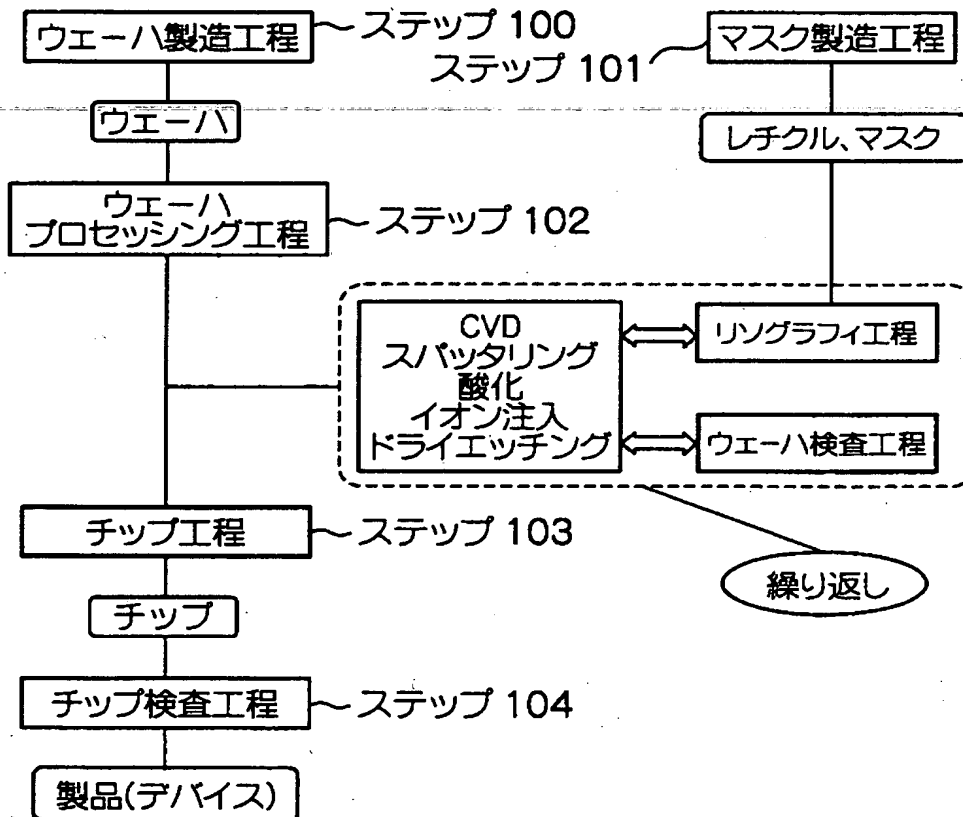
【図 5】



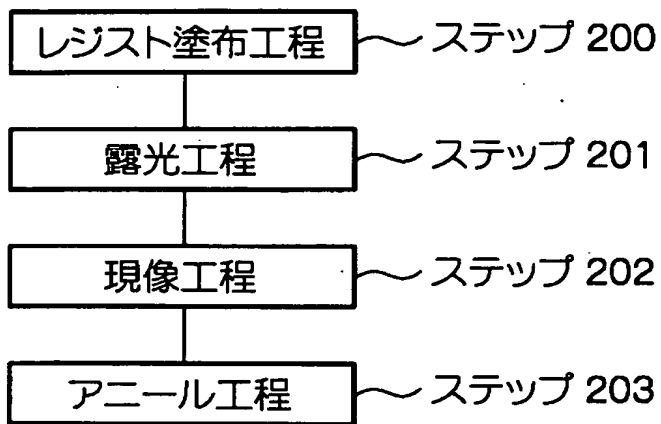
【図 6】



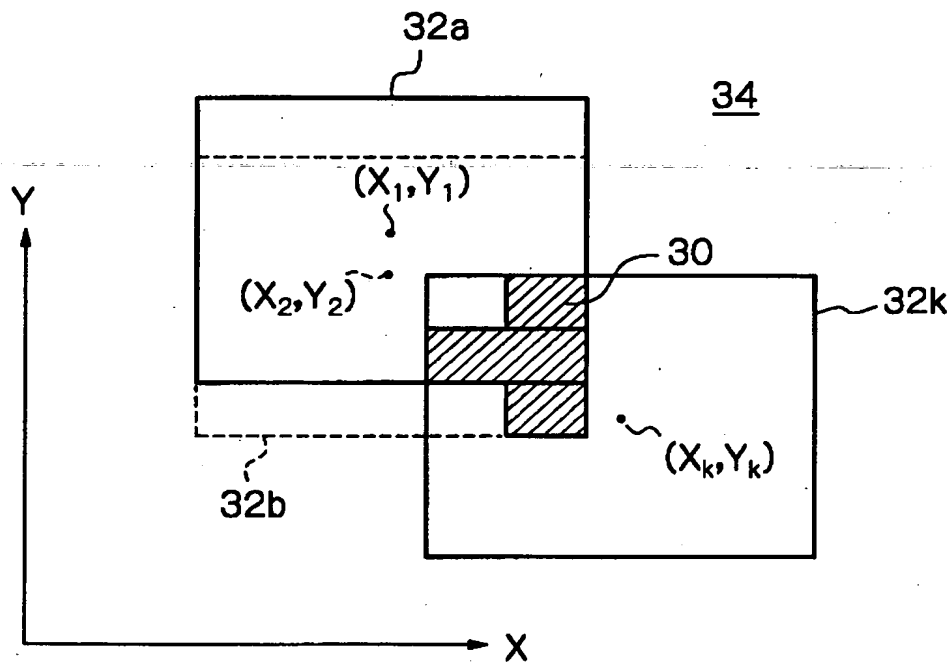
【図 7】



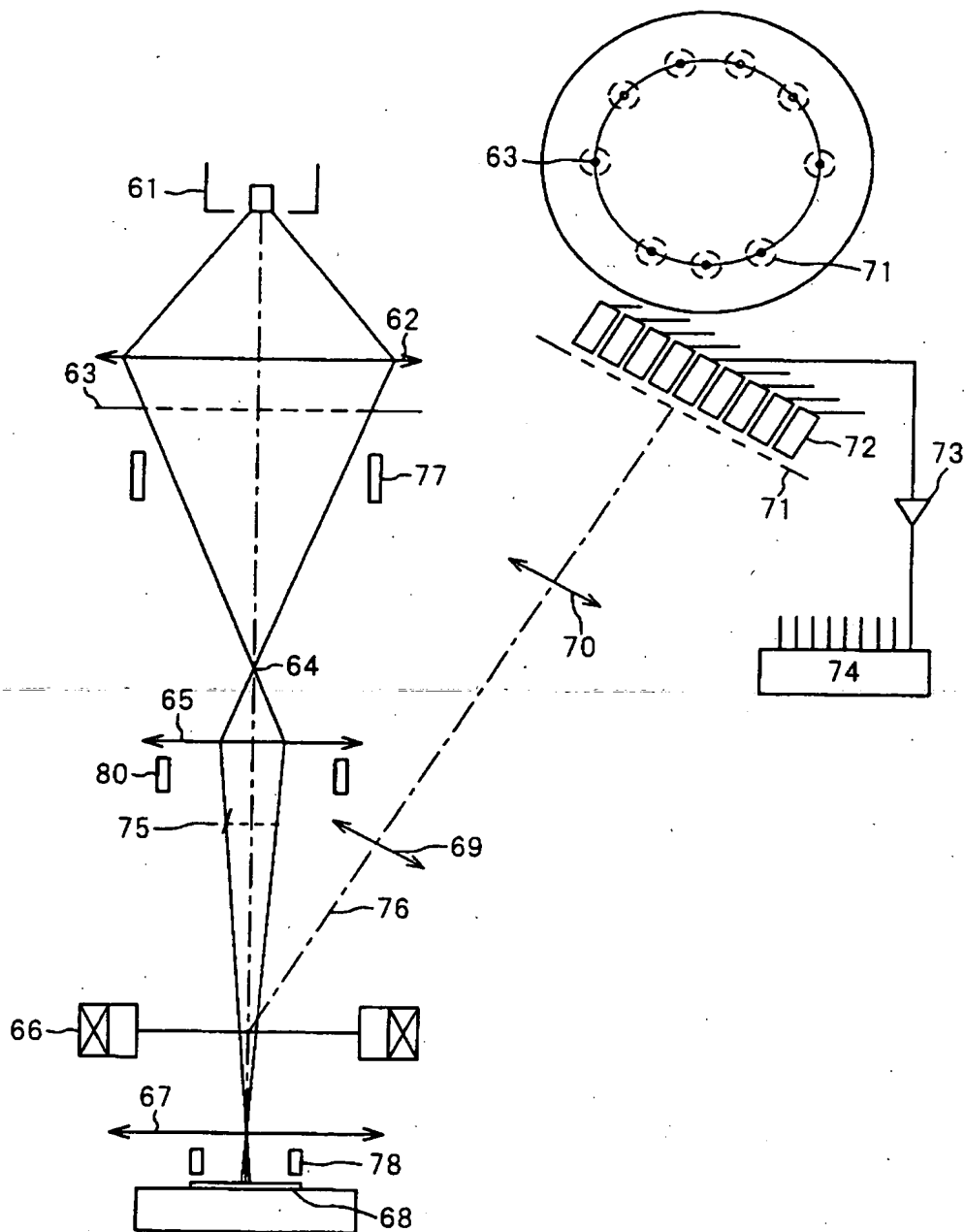
【図 8】



【図 9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止する。

【解決手段】 写像投影型の電子線装置が、1次電子線のウェーハ5表面上への照射角度を偏向させる偏向電極11と、偏向電極11の電場を制御する偏向制御器12と、基準画像記憶部13に記憶された基準画像及び検出器7により検出された二次電子線画像を比較してウェーハ5の欠陥検査を行う制御部16と、を備える。偏向電極が生成する電場を制御することによって、ウェーハ表面上で複数の被検査領域の二次電子線画像を取得することができる。制御部16は、取得された複数の被検査領域の各画像と基準画像との間でいわゆるマッチング演算を行い、複数の被検査画像のうち少なくとも1つが基準画像と実質的に差が無かった場合、ウェーハ5に欠陥無しと判断し、全ての被検査領域の画像が基準画像と実質的な差があった場合、ウェーハ5に欠陥有りと判断する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000239]

1. 変更年月日 1990年 8月31日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区羽田旭町11番1号
氏 名 株式会社荏原製作所